

5130
HEISENBERG, W.
1937

9
Physics

GEDANKEN DER ANTIKEN NATURPHILOSOPHIE IN DER MODERNEN PHYSIK

VON
WERNER HEISENBERG

Da die moderne Naturwissenschaft an vielen Stellen an die Erkenntnisse anknüpft, die sich der entstehenden griechischen Naturphilosophie beim ersten Versuch zum Verständnis der uns umgebenden Welt darboten, so mag die Frage der Betrachtung wert scheinen, welche von jenen ersten Erkenntnissen ihre fruchtbare Kraft auch in der heutigen Physik noch entfalten und welche formulierte Gestalt sie nach den wissenschaftlichen Erfahrungen der dazwischen liegenden zwei Jahrtausende angenommen haben. Vor allem sind es zwei Gedanken der ersten griechischen Philosophen, die noch heute den Weg der exakten Naturwissenschaft bestimmen und die daher vor allem unser Interesse beanspruchen können: die Überzeugung vom Aufbau der Materie aus kleinsten unteilbaren Einheiten, den Atomen, und der Glaube an die sinngebende Kraft mathematischer Strukturen.

Die These von der Existenz der Atome war die natürliche Folgerung aus der Entwicklung des Substanzbegriffs, um dessen Klärung die antike Naturphilosophie zuerst gerungen hat. Die Überzeugung, daß es im Wandel der Erscheinungen etwas Bleibendes geben müsse, an dem sich der Wandel vollzieht, führt zu der Lehre von der Existenz eines Grundstoffes. Für Thales war dieser Grundstoff einfach das Wasser, von dem alles Leben abzuhängen scheint. Von den Späteren wurde der Begriff des Grundstoffes schärfer gefaßt und erhielt die Merkmale der Einheitlichkeit und Unzerstörbarkeit. Um die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen verständlich zu machen, mußte daher die Folgezeit -- wenn sie nicht das Bleibende schon jenseits der materiellen Welt suchen wollte -- mehrere Grundstoffe annehmen, durch deren Mischung und Trennung der bunte Wechsel des Geschehenden hervorgerufen wird. Erde, Feuer, Luft und Wasser erschienen als die naturgegebenen Elemente, aus denen die Welt erbaut ist.

Damit diese Vorstellung zu einer wirklichen Erklärung der Erscheinungen führte, mußte nun der Vorgang der Mischung anschaulich beschrieben werden. Es lag nahe, etwa die Mischung zweier Flüssigkeiten nicht wesentlich anders zu deuten, als die Mischung von Erde und Sand, und anzunehmen, daß die kleinsten Teile der zu mischenden Flüssigkeiten ihre ursprüngliche Qualität unverändert beibehielten und daß in der Mischung die kleinsten Teile beider Flüssigkeiten unregelmäßig räumlich durcheinander verteilt seien. So entstand wie von selbst der Gedanke an kleinste unteilbare Einheiten der Materie, und in der Lehre des Leukipp und Demokrit erscheinen die 'Atome' als die eigentlichen Träger des materiellen und seelischen Geschehens.

Die Atome unterscheiden sich in dieser Lehre nicht mehr durch innere Qualitäten, sondern nur durch Gestalt, Lage und Bewegung. Diese geometrischen Eigenschaften reichen nach der Ansicht der Atomistiker aus, die Vielfältigkeit der Erscheinungen zu erklären. Die Atome sind das eigentlich Seiende, zwischen ihnen ist das Nichts, der leere Raum. Durch die Zusammenordnung gleichartiger Atome bilden sich größere zusammengesetzte Körper, ihre Eigenschaften sind wieder durch die Art der Zusammenordnung bestimmt. Die Atome selbst sind ewig und unzerstörbar. Mit der von diesen Grundgedanken ausgehenden antiken Atomistik ist nun die moderne Atomlehre zu vergleichen.

Auch die moderne Atomtheorie nimmt unteilbare Elementarbausteine der Materie an, die sie 'Elektronen, Neutronen, Protonen' nennt, und auch sie versucht, die sinnlichen Qualitäten der Körper auf die Dynamik der Atome zurückzuführen. Aber der Zwang, die mit den feinsten Mitteln durchgeführten Experimente bis in alle Einzelheiten zu erklären, hat deutlich gemacht, daß die antike Atomistik noch einen eigentümlichen Zwiespalt, eine innere Inkonsistenz enthielt und daß der Grundgedanke der Atomistik in konsequenterer Weise zu Ende geführt werden muß. Die Atomlehre des Demokrit erkennt einerseits, daß eine rationale Erklärung der sinnlichen Qualitäten der Materie nur möglich sein kann durch ihre Zurückführung auf das Verhalten von Wesenheiten, denen diese Qualitäten nicht mehr zukommen. Die Atome können nicht Eigenschaften wie Farbe oder Geruch besitzen, wenn sie das Zustandekommen von Farbe und Geruch der materiellen sichtbaren Körper wirklich erklären sollen. Solche sinnlichen Qualitäten werden den Atomen in der antiken Atomistik daher folgerichtig abgesprochen. Andererseits aber wird den Atomen die Quali-

tät der Raumerfüllung belassen, so daß von Lage, Anordnung und Größe der Atome gesprochen werden kann. An dieser Stelle geht Demokrit sogar ausdrücklich über die Meinungen seiner Vorgänger hinaus. Den für die frühere Philosophie grundlegenden Gegensatz von 'Seiendem' und 'Nichtseiendem' säkularisiert er zum Gegensatz des 'Vollen' und 'Leeren'; der leere Raum gilt ihm als sinnvoller Begriff. Damit gewinnt er die Möglichkeit, die verschiedenen sinnlichen Qualitäten der Stoffe zu erklären durch die verschiedenartige räumliche Anordnung der Atome; aber er muß gleichzeitig darauf verzichten, Raum und Zeit mit der Existenz der Materie in Zusammenhang zu bringen, Raum und Zeit zu 'erklären'. Die alte großartige Idee, daß Raum und Zeit gewissermaßen von der Materie aufgespannt und mit ihr wesensgleich seien, hat in der Demokritischen Lehre keinen Platz.

Die moderne Atomistik hat mit der antiken den Grundgedanken gemeinsam, daß die qualitative Vielfältigkeit des äußeren materiellen Geschehens erklärt werden könne, indem man sie zur Vielfältigkeit überschaubarer und analysierbarer Formen in Beziehung setzt. An solchen Formen standen den griechischen Philosophen nur die geometrischen Konfigurationen zur Verfügung, und die antike Atomlehre erklärt daher die Qualitäten durch die verschiedenartige räumliche Gruppierung der Atome. Die Bevorzugung einer bestimmten sinnlichen Eigenschaft, nämlich der Raumerfüllung als Qualität der Atome, erscheint hierbei jedoch als Mangel an Konsequenz, und es ist daher verständlich, daß die moderne Atomphysik in diesem Punkt von der antiken wesentlich abweichen muß. Das unteilbare Elementarteilchen der modernen Physik besitzt die Qualität der Raumerfüllung nicht in höherem Maße als die anderen Eigenschaften, wie etwa Farbe und Festigkeit. Es ist seinem Wesen nach nicht ein materielles Gebilde in Raum und Zeit, sondern gewissermaßen nur ein Symbol, bei dessen Einführung die Naturgesetze eine besonders einfache Gestalt annehmen. Die Atomlehre der modernen Physik unterscheidet sich also dadurch wesentlich von der antiken Atomistik, daß sie die Ausgestaltung oder Umdeutung zu einem naiven materialistischen Weltbild nicht mehr zuläßt. Denn die Atome sind nicht mehr körperliche Gebilde im eigentlichen Sinn, und es ist wohl berechtigt, zu sagen, daß die moderne Theorie insofern den prinzipiellen Grundgedanken der Atomistik reiner verkörpert als die antike. Es ist naturgemäß schwer, ohne Eingehen auf die Einzelheiten der Zusammenhänge einen Begriff zu vermitteln von der Stellung

des Atoms in der modernen Naturwissenschaft und von den mathematischen Formen, deren Vielfältigkeit uns hier ein bis in alle Einzelheiten getreues Abbild von der Mannigfaltigkeit der Erscheinungen liefert. Vielleicht kann eine etwas klarere Vorstellung vom symbolischen Charakter des heutigen Atombegriffs durch den Hinweis geweckt werden, daß die Frage nach der Existenz der Atome in der modernen Physik eine entfernte Ähnlichkeit aufweist mit der mathematischen Frage nach der Existenz der Quadratwurzel aus der negativen Einheit; obwohl die elementare Mathematik lehrt, daß unter den gewöhnlichen Zahlen eine solche Quadratwurzel nicht existiert, so erhalten doch die wichtigsten mathematischen Sätze erst ihre einfachste Form, wenn diese Quadratwurzel als neues Symbol eingeführt wird, und insofern wird ihre Existenz durch diese Sätze begründet. In ähnlicher Weise lehren die Erfahrungen der neueren Physik, daß es Atome als einfache körperliche Gegenstände nicht gibt, daß aber erst die Einführung des Atombegriffs eine einfache Formulierung der Zusammenhänge ermöglicht, die alle physikalischen und chemischen Vorgänge bestimmen.

Die Abstraktheit des modernen Atombegriffs und der mathematischen Formen, die der heutigen Atomistik als Abbild für die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen dienen, leitet bereits über zu dem zweiten Grundgedanken, den die exakte Naturwissenschaft unserer Zeit aus der Antike übernommen hat: dem Gedanken an die sinngebende Kraft mathematischer Strukturen.

Dieser Gedanke tritt uns zum ersten Mal deutlich entgegen in den Lehren der Pythagoreer, und er erschließt sich diesem Kreis durch die Entdeckung der mathematischen Bedingtheit der Harmonie. Bei Untersuchungen über die Schwingungen der Saiten finden die Pythagoreer, daß zwei angeschlagene Saiten dann harmonisch zusammenklingen, wenn (bei sonst gleichen Eigenschaften) ihre Längen in einem einfachen rationalen Verhältnis stehen. Dies bedeutet, daß dem menschlichen Ohr eine Gesamtheit von Tönen dann sinnvoll und harmonisch scheint, wenn in ihm einfache mathematische Beziehungen verwirklicht sind, obwohl diese Beziehungen dem Hörenden nicht bewußt werden. Diese Entdeckung gehört zu den stärksten Impulsen menschlicher Wissenschaft überhaupt, und wer den Blick einmal für die gestaltende Kraft mathematischer Ordnung geschärft hat, erkennt ihr Wirken in der Natur wie in der Kunst auf Schritt und Tritt. Als besonders einfaches und augenfälliges Beispiel hierfür sei

das Kaleidoskop erwähnt, in dem durch eine einfache mathematische Symmetrie aus bloß Zufälligem etwas Sinnvolles und Schönes entsteht; wertvollere und wichtigere Beiträge liefert die Analyse jedes bedeutenden Kunstwerkes oder in der Natur das Studium der Kristalle. Wenn in einer musikalischen Harmonie oder einer Form der bildenden Kunst die mathematische Struktur als Wesenskern erkannt wird, so muß auch die sinnvolle Ordnung der uns umgebenden Natur ihren Grund in dem mathematischen Kern der Naturgesetze haben. Diese Überzeugung findet ihren ersten Ausdruck in der Lehre der Pythagoreer von der Sphärenharmonie und in der Zuordnung der regulären Körper zu den Elementen — Plato erklärt im Timaios die Atome von Erde, Feuer, Luft und Wasser als Kubus, Tetraeder, Oktaeder, Ikosaeder. Letzten Endes beruht aber die ganze mathematische Naturwissenschaft auf dieser Überzeugung.

Wenn demnach die moderne Naturwissenschaft den Gedanken von der mathematisch faßbaren Ordnung in der Natur aus der Antike übernommen hat, so führt sie diesen Gedanken doch in einer anderen, und wie wir glauben strengen und für alle Zeiten verbindlichen Weise durch. Der Bereich der mathematischen Strukturen, der der antiken Wissenschaft zur Verfügung stand, war noch verhältnismäßig gering, es waren in erster Linie die geometrischen Formen, die zu den Erscheinungen in Beziehung gesetzt wurden. Die griechische Naturwissenschaft suchte daher nach statischen Gesetzmäßigkeiten; Gegenstand ihrer Forschung waren die unveränderlichen Bahnen, in denen sich die Gestirne bewegen, oder die Formen der ewigen und unzerstörbaren Atome. Die Gesetze, zu denen die antike Naturforschung auf diesem Wege vordrang, hielten aber der verfeinerten Erfahrung späterer Jahrhunderte nicht stand, und die Wissenschaft der Neuzeit hat gezeigt, daß in der uns umgebenden realen Welt nicht die geometrischen Formen das Bleibende sind, sondern die das Werden und Vergehen bestimmenden dynamischen Gesetze. Die Harmonien der Pythagoreer, die Kepler noch in den Bahnen der Gestirne zu finden glaubte, sucht die Naturwissenschaft seit Newton in der mathematischen Struktur des dynamischen Gesetzes, in der dieses Gesetz formulierenden Gleichung.

Diese Wendung bedeutet insofern eine konsequente Durchführung des Programms der Pythagoreer, als damit die unendliche Vielfältigkeit des Naturgeschehens ihr getreues mathematisches Abbild findet in den unendlich vielen Lösungen einer Gleichung, etwa der Newtonschen Differentialgleichung der Mechanik. Die Forderung, daß aus dem einen formulierten

Naturgesetz eine unendliche Fülle von Erscheinungen entspringen soll, die der experimentellen Untersuchung zugänglich sind, gibt dabei gleichzeitig die Gewähr für die richtige und dann für alle Zeiten verbindliche Formulierung des Gesetzes. Die ein solches Gesetz formulierende Gleichung drückt dabei zunächst nur die einfachsten physikalischen Sachverhalte aus: sie definiert die dynamischen Begriffe, die zum Verständnis der betreffenden Naturerscheinungen notwendig sind und enthält darüber hinaus einige allgemeine Aussagen über die Welt unserer Erfahrungen, etwa die Tatsache, daß im leeren Raum keine Richtung und kein Ort ausgezeichnet, daß er 'isotrop' und 'homogen' sei. Sie begreift trotzdem als mögliche Konsequenz in sich eine unendliche Fülle der Erscheinungen, ähnlich wie sich aus den wenigen Noten eines musikalischen Themas eine vielstimmige Fuge entwickeln kann. Während die antike Philosophie den Atomen der Elemente die regulären Körper zugeordnet hat, gehört also zum Elementarteilchen der modernen Physik eine mathematische Gleichung. Diese Gleichung formuliert das Naturgesetz, das den Aufbau der Materie beherrscht; sie enthält den zeitlichen Ablauf etwa einer chemischen Reaktion ebenso wie die regelmäßigen Formen der Kristalle oder die Töne einer schwingenden Saite. Sie entwickelt aus den zufälligen Anfangsbedingungen gesetzmäßig die physikalischen Erscheinungen der uns umgebenden Welt, ähnlich wie das Kaleidoskop aus einer zufälligen Anordnung bunter Steine ein kunstvolles Muster entstehen läßt.

Die Erfolge dieser Naturbetrachtung, die zum Teil zu einer wirklichen Beherrschung der Naturkräfte geführt hat und damit in die Entwicklung der Menschheit entscheidend eingreift, haben dem Glauben der Pythagoreer in einem nicht vorhersehbaren Maße recht gegeben. Das Vertrauen in den einfachen mathematischen Kern aller gesetzmäßigen Zusammenhänge in der Natur, auch derer, die wir noch nicht durchschauen, ist daher auch in der modernen Wissenschaft noch so lebendig, daß die mathematische Einfachheit als das oberste heuristische Prinzip bei der Auffindung der Naturgesetze in einem durch neue Experimente erschlossenen Gebiet gilt. Ein neuer Erfahrungsbereich erscheint uns erst dann in seinem inneren Zusammenhang verstanden, wenn die ihn bestimmenden Gesetze einfach mathematisch formuliert sind.

Dieses aus der Antike übernommene Suchen nach der mathematischen Struktur der Erscheinungen hat freilich den Vorwurf auf sich gezogen, daß es nur eine bestimmte und nicht die wesentlichste Seite der Natur ans Licht

bringe, während es für ein unmittelbares und allgemeines Verständnis der Natur eher hinderlich sei. Diesem Vorwurf kann aber am besten durch den Hinweis auf den Ausgangspunkt der Pythagoreischen Lehre begegnet werden. Das bewußte Verständnis der rationalen Zahlenverhältnisse, die der musikalischen Harmonie zu Grunde liegen, ist für den notwendig, der ein Instrument bauen oder Musik tätig hervorbringen will. Der eigentliche Inhalt der Musik aber erschließt sich uns im unbewußten geistigen Aufnehmen jener rationalen Verhältnisse. In ähnlicher Weise ist die bewußte Kenntnis der mathematisch formulierten Naturgesetze die Voraussetzung für ein aktives, auf den praktischen Nutzen gerichtetes Eingreifen in die materielle Welt. Es gibt aber dahinter noch ein unmittelbares Verstehen der Natur, das diese mathematischen Strukturen unbewußt empfängt und im Geist nachbildet, und das sich allen den Menschen erschließt, die zu einer innigeren, aufnehmenden Beziehung zur Natur bereit sind.

IN DIE ANTIKE 13 BAND.